

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-133883

(43)Date of publication of application : 12.05.2000

(51)Int.Cl. H01S 5/343

(21)Application number : 10-300615

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 22.10.1998

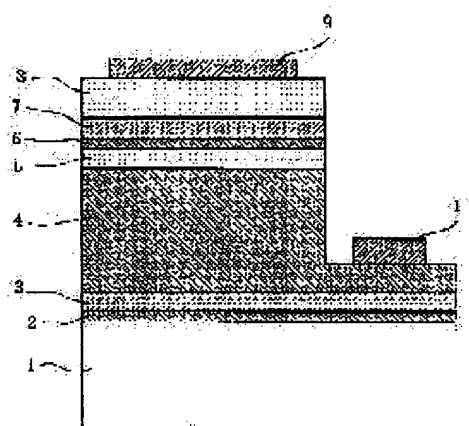
(72)Inventor : MUKAI TAKASHI

## (54) NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nitride semiconductor light-emitting element which can improve photoelectric conversion efficiency without deteriorating light-emitting output.

SOLUTION: An active layer 6 of a multiple quantum well structure, in which a well layer formed of a nitride semiconductor containing. In add a barrier layer formed of a nitride semiconductor whose compositions is different from that of the well layer are stacked between an n-type nitride semiconductor layer and a p-type nitride semiconductor layer is provided. The well layer is undoped, and the single film thickness of the barrier layer is 70-500 angstroms. Then, n-type impurities are doped in the barrier layer in the range of  $5 \times 10^{16}$ - $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 21.10.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] n mold nitride semi-conductor layer and the well layer which consists of a nitride semi-conductor which contains In between p mold nitride semi-conductor layers. It has the barrier layer of the multiplex quantum well structure of coming to carry out the laminating of the barrier layer which consists of a nitride semi-conductor with which a well layer differs from a presentation. The nitride semiconductor device which said well layer is undoping and is characterized by for the single thickness of said barrier layer having 70-500Å, and n mold impurity being further doped by the barrier layer  $5 \times 10^{16}$  to  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ .

[Claim 2] The nitride semiconductor device according to claim 1 to which said barrier layer is characterized by coming to grow up on an undoping nitride semi-conductor layer.

[Claim 3] The nitride semiconductor device according to claim 2 to which said undoping nitride semi-conductor layer is characterized by having 10-500Å thickness.

[Claim 4] The nitride semiconductor device according to claim 2 or 3 characterized by said undoping nitride semi-conductor layer consisting of undoping GaN.

---

[Translation done.]

---

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the component which consists of a nitride semi-conductor ( $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ,  $0 \leq x$ ,  $0 \leq y$ ,  $x+y \leq 1$ ) used for electron devices, such as photo detectors, such as light emitting devices, such as a light emitting diode component and a laser diode component, a solar battery, and a photosensor, or a transistor, and a power device.

[0002]

[Description of the Prior Art] The nitride semi-conductor is put in practical use as an ingredient of high brightness blue LED and authentic green LED in the various light sources, such as a full color LED display, a traffic light, and the image scanner light source. The buffer layer to which these LED components consist of GaN on silicon on sapphire fundamentally, The n side contact layer which consists of an Si dope GaN, and InGaN of single quantum well structure (SQW:Single-Quantum-Well), Or the barrier layer of multiplex quantum well structure (MQW:Multi-Quantum-Well) which has InGaN, Have the structure where the laminating of the p side cladding layer which consists of a Mg dope AlGaIn, and the p side contact layer which consists of a Mg dope GaN was carried out to order, and it sets to 20mA. The properties which were very excellent are indicated to be 3mW and 6.3% of external quantum efficiency by blue LED with a luminescence wavelength of 450nm by 5mW, 9.1% of external quantum efficiency, and 520nm green LED. Since multiplex quantum well structure has the structure which consists of two or more mini bands and luminescence realizes it also with an efficient and small current, improvement in component properties, like a radiant power output becomes high from single quantum well structure is expected.

[0003] For example, these people are indicating the nitride semi-conductor light emitting device which has the barrier layer of the multiplex quantum well structure which becomes JP,9-36430,A from a well layer 100Å [ or less ] and a barrier layer 150Å or less as a high component of a radiant power output. Thus, it becomes that the barrier layer of a component is quantum well structure with high power according to the distortion quantum well effectiveness, an EKISHINTON luminous effect, etc.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, although the LED component which these above-mentioned people indicated is high power, and can be enough applied to practical use and it is applied to various products, such as a signal, according to the demand of energy saving in recent years etc., the further improvement in photoelectric conversion efficiency is wished that it is not accompanied by the fall of a radiant power output with a low power. If a good radiant power output is obtained with such a low power, the life property of a component can also be raised more. Then, the purpose of this invention is offering the nitride semi-conductor light emitting device which can raise photoelectric conversion efficiency, without reducing a radiant power output.

[0005]

[Means for Solving the Problem] That is, this invention can attain the purpose of this invention by the configuration of following the (1) - (4).

(1) n mold nitride semi-conductor layer and the well layer which consists of a nitride semi-conductor which contains In between p mold nitride semi-conductor layers. It has the barrier layer of the multiplex quantum well structure of coming to carry out the laminating of the barrier layer which consists of a nitride semi-conductor with which a well layer differs from a presentation. The nitride semiconductor device which said well layer is undoping and is characterized by for the single thickness of said barrier layer having 70-500Å, and n mold impurity being further doped by the barrier layer  $5 \times 10^{16}$  to  $1 \times 10^{19}$  /cm<sup>3</sup>.

(2) A nitride semiconductor device given in the above (1) said whose barrier layer is characterized by coming to grow up on an undoping nitride semi-conductor layer.

(3) A nitride semiconductor device given in the above (2) said whose undoping nitride semi-conductor layer is characterized by having 10-500Å thickness.

(4) The above (2) characterized by said undoping nitride semi-conductor layer consisting of undoping GaN, or a nitride semiconductor device given in (3).

[0006] That is, by using the barrier layer of multiplex quantum well structure as a thick film compared with specific thickness, i.e., the conventional thing, making this barrier layer contain n mold impurity by specific concentration, and considering a well layer as undoping further, this invention makes possible low forward voltage (Vf) and few leakage current, and it can offer the nitride semiconductor device which can raise

photoelectric conversion efficiency, without reducing a radiant power output.

[0007] Although it is indicated by above mentioned JP,9-36430,A that n mold impurity may be added to a barrier layer, the addition concentration of the thickness of a barrier layer and n mold impurity is not indicated at all. Moreover, although doping impurities, such as Si, Cd, Zn, and Mg, only to a barrier layer is indicated by JP,10-65271,A and the barrier layer of 30A of thickness is concretely indicated by the example, in such thickness, it is hard to raise photoelectric conversion efficiency to satisfying enough extent. Furthermore, although it is indicated by JP,10-135514,A that a barrier layer may be made to contain an impurity, since thickness of a barrier layer is made into 30-50A, it is hard to raise photoelectric conversion efficiency to satisfying enough extent like the above-mentioned official report.

[0008] On the other hand, as a result of examining many things so that this invention person may raise photoelectric conversion efficiency, it found out that it was solvable by using thickness of the barrier layer of the barrier layer of multiplex quantum well structure as a thick film. However, if thickness of a barrier layer is used as a thick film, there will be an inclination for forward voltage (Vf) to become high, and a low power will be hard to attain high photoelectric conversion efficiency only by using a barrier layer as a thick film. It is a method of \*\*\*\* that there is an inclination which leakage current will increase in about [ that photoelectric conversion efficiency falls on the contrary ] and an I-V property if the addition of n mold impurity is high although Vf can be reduced by adding n mold impurity to the barrier layer used as the thick film as a result of examining many things to the trouble of this Vf rise. Thus, if n mold impurity is added in order for Vf to go up and to reduce Vf, if photoelectric conversion efficiency is raised by using a barrier layer as a thick film, as it said that leakage current increased, in all these properties, it cannot be satisfied. This invention considers in a detail the above-mentioned configuration, i.e., the relation between the thickness of a barrier layer, and the concentration of n mold impurity added to a barrier layer, to such a trouble. Consequently, by adding n mold impurity of specific thickness and specific concentration for a barrier layer, and considering a well layer as undoping, and combining this undoping well layer and said barrier layer Since photoelectric conversion efficiency can be raised by low Vf and few leakage current, a radiant power output even with a good low power can be obtained.

[0009] Furthermore, this invention is desirable, although the barrier layer of multiplex quantum well structure will become better [ the crystallinity of a barrier layer ] and will set to the improvement in photoelectric conversion efficiency, and low Vf, if laminating growth is carried out on an undoping GaN layer more preferably [ it is desirable on an undoping nitride semi-conductor layer, and ] on the undoping nitride semi-conductor layer of 10-500A of thickness.

[0010]

[Embodiment of the Invention] In this invention, a barrier layer is the multiplex quantum well structure of the multilayers structure which carried out the laminating of a well layer and the barrier layer one by one. The minimum laminated structure of multiplex quantum well structure may be a three-tiered structure which consists of the three-tiered structure or one well layer which consists of one barrier layer and a well layer (two) prepared in the both sides of this barrier layer, and a barrier layer (two) prepared in those both sides. In multiplex quantum well structure, the two outermost layers of both sides are constituted by a well layer or the barrier layer, respectively. Moreover, one outermost layer may consist of well layers so that the outermost layer of another side may turn into a barrier layer. Moreover, the side close to the nitride semi-conductor layer by the side of p may finish it as a barrier layer, or multiplex quantum well structure may be finished with a well layer.

[0011] the nitride semi-conductor (preferably InGaN) with which a well layer and a barrier layer contain an indium and a gallium for both in the barrier layer of such multiplex quantum well structure — it can form (however, both presentations differ) — a well layer is formed with the nitride semi-conductor (preferably InGaN) containing an indium and a gallium, it is other nitride semi-conductors, for example, a barrier layer can also be formed by InN or GaN. for example, the nitride semi-conductor with which the well layer of a barrier layer which consists of multiplex quantum well structure contains In at least — it is preferably referred to as InXGa1-XN (0< X<1). On the other hand, a barrier layer chooses a nitride semi-conductor with larger bandgap energy than a well layer, and is preferably taken as InYGa1-YN (0<=Y<1, X>Y) or AlZGa1-ZN (0< Z<0.5). However, it is also possible to set a well layer and a barrier layer to InAlN.

[0012] In this invention, although especially the total thickness of a barrier layer is not limited, it is the thickness of the sum total of a layer with which the laminating of a well layer and the barrier layer was carried out, for example, is specifically 500-5000A, and is 1000-3000A preferably. It is desirable in respect of the time amount which the crystal growth of a radiant power output and a barrier layer takes as the total thickness of a barrier layer is the above-mentioned range. The single thickness of the barrier layer which constitutes the multiplex quantum well structure of a barrier layer is 70-500A, and is 100-300A preferably. It becomes [ photoelectric conversion efficiency improves that the single thickness of a barrier layer is the above-mentioned range, and ] low Vf and few leakage current and is desirable. Moreover, 100A or less of 70A or less of single thickness of the well layer of a barrier layer is 50A or less more preferably. Although especially the minimum of the single thickness of a well layer is not limited, it is desirable that it is 10A or more. It is desirable in the single thickness of a well layer being the above-mentioned range in respect of a radiant power output and emission spectrum half-value width.

[0013] In this invention, the well layer of a barrier layer is undoping (condition which does not dope an impurity

intentionally), and n mold impurity is doped by only the barrier layer. IV group or VI group elements, such as Si, germanium, Sn, S, O, Ti, and Zr, can be used for n mold impurity doped to a barrier layer, and Si, germanium, and Sn are used preferably. the amount of dopes of n mold impurity to a barrier layer — three to  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  of  $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  — desirable — three to  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  of  $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  — it adjusts to the range of three to  $3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  of  $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  still more preferably. Photoelectric conversion efficiency is not reduced as the amount of dopes of n mold impurity is the above-mentioned range, the increment in leakage current is not seen in an I-V property, but Vf can be fallen, and it is desirable.

[0014] Below, the single thickness of the barrier layer of the barrier layer of multiplex quantum well structure and the value of the amount of dopes of n mold impurity to this barrier layer are explained further at a detail. However, drawing 2 and drawing 3 are data at the time of using the barrier layer which has the barrier layer which it comes to dope  $9 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  as a barrier layer of a barrier layer about 300Å of single thickness of the below-mentioned example 1, and Si.

[0015] As the high impurity concentration doped to a barrier layer was shown in drawing 2 (a), although the R/C of leakage current is small, when  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  is exceeded, in a low-concentration case, in applied-voltage-5V, there is an inclination for the R/C of leakage current to become large. On the other hand, if high impurity concentration is gradually reduced as shown in drawing 2 (b), forward voltage will rise in inverse proportion to the amount of dopes, but when the amount of dopes of an impurity is set to three or more  $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ , there is an inclination for the rise of forward voltage to become large. Moreover, although the single thickness of a barrier layer, the more, has the inclination for forward voltage to rise proportionally the more it becomes thick as shown in drawing 3 (a), as for points, such as the endurance of a nitride semiconductor device, and specification, to forward voltage, it is desirable that it is less than [ 3.8V ]. From this, the upper limit of the single thickness of a barrier layer is made into 500Å or less. Moreover, if a radiant power output is small and, as for the case of a thin film, thickens single thickness gradually to 70Å as shown in drawing 3 (b), a radiant power output will have a sudden rise and will become high, but when it is 70Å or more, there is an inclination for the rise of a radiant power output to become loose. From this, the minimum of the thickness of the single thickness of a barrier layer is made into 70Å or more.

[0016] Above the various troubles caused by thickening single thickness of a barrier layer in order to raise photoelectric conversion efficiency from things In order to solve to improvement in photoelectric conversion efficiency, and coincidence, single thickness of a barrier layer is variously made into 70-500Å as a result of examination. Solution of many problems produced by having used the barrier layer as the thick film and improvement in photoelectric conversion efficiency can be made good by setting the amount of dopes of the impurity to a barrier layer to three to  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  of  $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ .

[0017] Even if the undoping nitride semi-conductor layer made to form in this invention just before growing up a barrier layer is a layer which showed the layer formed without doping an impurity intentionally, and the impurity mixed by the contamination from the diffusion, the raw material, or equipment of an impurity from the adjoining layer, when the impurity is not doped intentionally, it considers as an undoping layer. If such an undoping nitride semi-conductor layer was formed upwards and a barrier layer is grown up, the crystallinity of a barrier layer will improve and photoelectric conversion efficiency and emission spectrum half-value width will become better.

[0018] As for the above-mentioned undoping nitride semi-conductor layer, in this invention, it is desirable to consist of any one of the undoping AlGaIn which can be expressed with the undoping InGaIn expressed with Undoping GaIn and general formula  $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{In}$  ( $0 < a < 0.5$ , preferably  $a < 0.2$ ) with large bandgap energy as compared with the above-mentioned barrier layer and general formula  $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{In}$  ( $0 < b < 1$ , preferably  $b < 0.2$ ). Moreover, you may constitute using general formula  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}$  ( $0 < x, 0 < y, x+y < 1$ ). In addition, when using Undoping InGaIn as an undoping nitride semi-conductor layer, in this undoping InGaIn, the ratio of In to Ga is small set up as compared with the above-mentioned well layer. 10-500Å of 10-300Å of thickness of the above-mentioned undoping nitride semi-conductor layer is 20-100Å more preferably. It is desirable in respect of photoelectric conversion efficiency and a radiant power output in thickness being the above-mentioned range.

[0019] In this invention, it is not limited especially as n mold and a p mold nitride semi-conductor layer, but can use combining various nitride semi-conductor layers. Moreover, the nitride semi-conductor of various undoping of a presentation which is [ which are and same-forms ] different may be used for one part of the nitride semiconductor devices besides the undoping nitride semi-conductor layer formed just before said barrier layer. For example, it becomes [ the crystallinity of the nitride semi-conductor grown up at an elevated temperature (temperature higher than about 900 degrees C) on a buffer layer ] good and is desirable when the buffer layer which consists of GaN at 200-900 degrees C on different-species substrates, such as sapphire, is grown up. Moreover, when layers, such as AlGaIn which made the upper layer of a barrier layer dope Mg, are formed, it is desirable in respect of a radiant power output. Thus, a component can be constituted combining various nitride semi-conductor layers. The nitride semi-conductor which constitutes the LED component shown in the below-mentioned example as an example of a nitride semiconductor device can be used. Moreover, as an electrode, the electrode which has various ohmic contact can be chosen suitably, and can be used.

[0020] Moreover, if the undoping nitride semi-conductor layer grown up just before growing up the barrier layer of said multiplex quantum well structure is grown up just before growing up the barrier layer of single well

structure, it can raise photoelectric conversion efficiency like the case where it is made to grow up just before the barrier layer of multiplex quantum well structure.

[0021]

[Example] Although the example which is the gestalt of 1 operation of this invention is shown below, this invention is not limited to this.

The [example 1] example 1 creates the light emitting diode (LED) shown in drawing 1. On C side of silicon on sapphire 1, the GaN buffer layer 2 with a thickness of 300A is grown up at 550 degrees C, and the undoping GaN layer 3 with a thickness of 0.7 micrometers is grown up at 1050 degrees C on the GaN buffer layer 2.

Next, at the same temperature, the n mold GaN layer 4 by which Si was doped is grown up into the thickness of 3.3 micrometers.

[0022] And before growing up a barrier layer, the undoping GaN layer 5 is grown up into the thickness of 400A at 1050 degrees C.

[0023] Next, the barrier layer which consists of GaN doped  $9 \times 10^{16} \text{--}/\text{cm}^3$  is grown up by 300A thickness, and Si makes temperature 800 degrees C continuously, and grows up the well layer which consists of undoping  $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$  using TMG, TMI, and ammonia by 30A thickness. And obstruction + well + obstruction + well .... In the order of + obstruction, a barrier layer is made into six layers, the laminating of the well layer is made five layers and by turns, and the barrier layer 7 which consists of multiplex quantum well structure of the 1950A of the total thickness is grown up.

[0024] Next, the p mold AlGaIn layer 7 which consists of p mold aluminum  $0.2\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  with a thickness of 300A by which Mg was doped is grown up, and the p mold GaN layer 8 with a thickness of 0.2 micrometers by which Mg was doped further is grown up.

[0025] Temperature is lowered to a room temperature after reaction termination, annealing is further performed for a wafer at 700 degrees C in a reaction container among nitrogen-gas-atmosphere mind, and p type layer is formed into low resistance.

[0026] In order to pick out a wafer from a reaction container after annealing, to form the mask of a predetermined configuration in the front face of the p side GaN layer 8 of the maximum upper layer, and for etching to remove partially the p mold GaN layer 8 by which the laminating was carried out, the p mold AlGaIn layer 7, a barrier layer 6, and the undoping GaN layer 5 and to form n electrode with RIE (reactive ion etching) equipment, the front face of the n mold GaN layer 4 is exposed.

[0027] Next, p electrode which consists of nickel/Au is formed on the p mold GaN layer 8, the n electrode 11 which consists of Ti/aluminum is formed in the front face exposed on the n mold GaN layer 4, and an LED component is produced.

[0028] This LED component showed 470nm blue luminescence in 20mA of forward current, and  $V_f$  is 3.5V, a radiant power output is 6.5mW, it fell about [ 0.3 ] V by  $V_f$  as compared with the LED component of the conventional multiplex quantum well structure, and the output improved to 1.5 or more times. In addition, the barrier layer which constitutes a barrier layer in the above-mentioned example 1 as an LED component of the conventional multiplex quantum well structure was changed into the 20A thickness of undoping, and also LED was produced similarly. As mentioned above, compared with a comparative component, a radiant power output goes up with the same forward current value, the component of this invention can improve photoelectric conversion efficiency, and low-power-ization of it is attained from this.

[0029] In the [example 2] example 1, the undoping GaN layer 5 grown up just before growing up a barrier layer is not formed, and also an LED component is produced similarly. The obtained LED component has the almost same good property, although photoelectric conversion efficiency falls a little compared with an example 1 and emission spectrum half-value width becomes a little large.

[0030] In the [example 1 of comparison] example 1, Si was doped  $2 \times 10^{19} \text{--}/\text{cm}^3$  in the well layer, and also an LED component is produced similarly. The obtained LED component was applied-voltage-5V, properties, such as 800mA of leakage current and 0.5mW of radiant power outputs, were shown, and a good result was not obtained.

[0031]

[Effect of the Invention] By considering the well layer of the barrier layer of multiplex quantum well structure as undoping, and specifying the thickness and high impurity concentration of a barrier layer further, this invention can solve the conventional trouble and can offer a nitride semi-conductor light emitting device with the high photoelectric conversion efficiency which has a good radiant power output also with a low power.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPJ are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Drawing 1 is the type section Fig. showing the structure of the LED component which is the gestalt of 1 operation of this invention.

[Drawing 2] Drawing 2 is the graph which plotted the leakage current [ drawing 2 (a)] when changing gradually the high impurity concentration of the barrier layer of the barrier layer of an example 1, and change of forward voltage [ drawing 2 (b)].

[Drawing 3] Drawing 3 is the graph which plotted the forward voltage [ drawing 3 (a)] when changing gradually the thickness of the barrier layer of the barrier layer of an example 1, and change of a radiant power output [ drawing 3 (b)].

[Description of Notations]

- 1 ... Silicon on sapphire
- 2 ... Buffer layer
- 3 ... Undoping GaN layer
- 4 ... Si dope GaN layer
- 5 ... Undoping GaN layer
- 6 ... Barrier layer
- 7 ... Mg dope AlGaIn layer
- 8 ... Mg dope GaN layer
- 9 ... p electrode
- 11 ... n electrode

---

[Translation done.]

---

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-133883  
(P2000-133883A)

(43) 公開日 平成12年5月12日 (2000.5.12)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト* (参考)
H 0 1 S 5/343		H 0 1 S 3/18	6 7 7 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平10-300615

(22) 出願日 平成10年10月22日 (1998. 10. 22)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社  
徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 向井 孝志

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

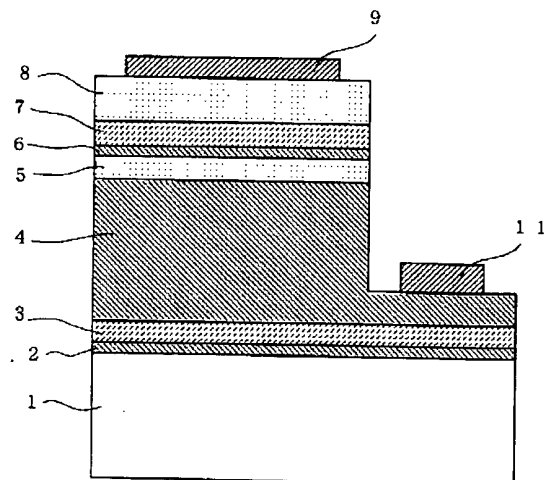
F ターム (参考) 5F073 AA74 CA07 CA17 CB05 CB17  
EA29

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 発光出力を低下させることなく、光電変換効率を高めることができる窒化物半導体発光素子を提供することである。

【解決手段】 n型窒化物半導体層と、p型窒化物半導体層との間に、Inを含む窒化物半導体よりなる井戸層と、井戸層と組成の異なる窒化物半導体よりなる障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造の活性層6を有し、前記井戸層がアンドープであり、前記障壁層の単一膜厚が70～500オングストロームを有し、更に障壁層にn型不純物が $5 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープされている。





## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型窒化物半導体層と、p型窒化物半導体層との間に、Inを含む窒化物半導体よりなる井戸層と、井戸層と組成の異なる窒化物半導体よりなる障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造の活性層を有し、前記井戸層がアンドープであり、前記障壁層の単一膜厚が70～500オングストロームを有し更に障壁層にn型不純物が $5 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープされていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 前記活性層が、アンドープ窒化物半導体層上に成長されてなることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記アンドープ窒化物半導体層が、10～500オングストロームの膜厚を有することを特徴とする請求項2に記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記アンドープ窒化物半導体層が、アンドープGaNからなることを特徴とする請求項2又は3に記載の窒化物半導体素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は発光ダイオード素子、レーザダイオード素子等の発光素子、太陽電池、光センサ等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに用いられる窒化物半導体(In<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>1-y</sub>N、0≤x、0≤y、x+y≤1)よりなる素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】窒化物半導体は高輝度青色LED、純緑色LEDの材料として、フルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の各種光源で実用化されている。これらのLED素子は基本的に、サファイア基板上にGaNよりなるバッファ層と、SiドープGaNよりなるn側コンタクト層と、単一量子井戸構造(SQW: Single-Quantum-Well)のInGaN、あるいはInGaNを有する多重量子井戸構造(MQW: Multi-Quantum-Well)の活性層と、MgドープAlGaNよりなるp側クラッド層と、MgドープGaNよりなるp側コンタクト層とが順に積層された構造を有しており、20mAにおいて、発光波長450nmの青色LEDで5mW、外部量子効率9.1%、520nmの緑色LEDで3mW、外部量子効率6.3%と非常に優れた特性を示す。多重量子井戸構造は、複数のミニバンドからなる構造を有し、効率よく、小さな電流でも発光が実現することから、単一量子井戸構造より発光出力が高くなる等の素子特性の向上が期待される。

【0003】例えば、本出願人は、特開平9-36430号公報に、発光出力の高い素子として、100オングストローム以下の井戸層と、150オングストローム以下の障壁層とからなる多重量子井戸構造の活性層を有する窒化物半導体発光素子を開示している。このように素

子の活性層が量子井戸構造であると、歪み量子井戸効果、エキシトン発光効果等により高出力となる。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記本出願人が開示したLED素子は、高出力であり実用に十分適用でき信号などの種々の製品に適用されているものの、近年の省エネなどの要求に応じて、低消費電力でも発光出力の低下を伴わないように光電変換効率のさらなる向上が望まれる。このような、低消費電力で良好な発光出力が得られれば、素子の寿命特性をより向上させることもできる。そこで、本発明の目的は、発光出力を低下させることなく、光電変換効率を高めることができる窒化物半導体発光素子を提供することである。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】即ち、本発明は、下記(1)～(4)の構成により本発明の目的を達成することができる。

(1) n型窒化物半導体層と、p型窒化物半導体層との間に、Inを含む窒化物半導体よりなる井戸層と、井戸層と組成の異なる窒化物半導体よりなる障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造の活性層を有し、前記井戸層がアンドープであり、前記障壁層の単一膜厚が70～500オングストロームを有し更に障壁層にn型不純物が $5 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープされていることを特徴とする窒化物半導体素子。

(2) 前記活性層が、アンドープ窒化物半導体層上に成長されてなることを特徴とする前記(1)に記載の窒化物半導体素子。

(3) 前記アンドープ窒化物半導体層が、10～500オングストロームの膜厚を有することを特徴とする前記(2)に記載の窒化物半導体素子。

(4) 前記アンドープ窒化物半導体層が、アンドープGaNからなることを特徴とする前記(2)又は(3)に記載の窒化物半導体素子。

【0006】つまり、本発明は、多重量子井戸構造の障壁層を特定の膜厚、つまり従来のものに比べて厚膜にし、この障壁層にn型不純物を特定の濃度で含有させ、更に、井戸層をアンドープとすることにより、低い順方向電圧(V<sub>f</sub>)と少リーク電流を可能とし、発光出力を低下させることなく光電変換効率を向上させることができる窒化物半導体素子を提供することができる。

【0007】前記した特開平9-36430号公報には、活性層にn型不純物を添加してもよいことが記載されているが、障壁層の膜厚とn型不純物の添加濃度については何ら記載されていない。また、特開平10-65271号公報には、障壁層のみにSi、Cd、Zn、Mgなどの不純物をドープすることが記載され、実施例に膜厚30オングストロームの障壁層が具体的に記載されているが、このような膜厚では光電変換効率を十分満足できる程度に向上させ難い。また更に、特開平10-1

35514号公報には、障壁層に不純物を含有させてもよいことが記載されているが、障壁層の膜厚を30～500オングストロームとしているので上記公報と同様に光電変換効率を十分満足できる程度に向上させていく。

【0008】これに対して、本発明者は、光電変換効率を向上させるべく、種々検討した結果、多重量子井戸構造の活性層の障壁層の膜厚を厚膜にすることにより、解決できることを見出した。しかし、障壁層の膜厚を厚膜とすると、順方向電圧(Vf)が高くなる傾向があり、単に障壁層を厚膜にしただけでは低消費電力で高光電変換効率を達成しにくい。このVf上昇といった問題点に対し、種々検討した結果、厚膜にした障壁層にn型不純物を添加することによりVfを低下させることができるが、n型不純物の添加量が高いとかえって光電変換効率が低下するばかりか、I-V特性においてリーク電流が増加する傾向があることがわかった。このように、障壁層を厚膜として光電変換効率を向上させるとVfが上昇し、Vfを低下させるためにn型不純物を添加するとリーク電流が増加するといったように、これらの特性全てにおいて満足できない。このような問題点に対し、本発明は、上記構成、つまり障壁層の膜厚と障壁層に添加するn型不純物の濃度との関係を詳細に検討し、この結果、障壁層を特定の膜厚及び特定の濃度のn型不純物を添加し、且つ井戸層をアンドープとし、このアンドープ井戸層と前記障壁層とを組み合わせることにより、低Vf及び少リーク電流で光電変換効率を向上させることができるため、低消費電力でさえも良好な発光出力を得ることができる。

【0009】更に本発明は、多重量子井戸構造の活性層が、アンドープ窒化物半導体層上に、好ましくは膜厚10～500オングストロームのアンドープ窒化物半導体層上に、より好ましくはアンドープGaIn層上に、積層成長されると、活性層の結晶性がより良好となり、光電変換効率の向上及び低Vfとするのに好ましい。

【0010】

【発明の実施の形態】本発明において、活性層は、井戸層と障壁層とを順次積層した多層膜構造の多重量子井戸構造である。多重量子井戸構造の最小積層構造は、1つの障壁層とこの障壁層の両側に設けられた(2つの)井戸層とからなる3層構造または1つの井戸層とその両側に設けられた(2つの)障壁層とからなる3層構造であり得る。多重量子井戸構造において、両側の2つの最外層は、それぞれ井戸層または障壁層により構成される。また、一方の最外層が井戸層で他方の最外層が障壁層となるように構成されてもよい。また、多重量子井戸構造は、p側の窒化物半導体層に接近した側が障壁層で終わっても井戸層で終わってもよい。

【0011】このような多重量子井戸構造の活性層において、井戸層及び障壁層は、両者をインジウムとガリウムを含む窒化物半導体(好ましくはInGaIn)で形

成することができる(ただし、両者の組成は異なる)が、井戸層をインジウムとガリウムを含む窒化物半導体(好ましくはInGaIn)で形成し、障壁層を他の窒化物半導体で、例えばInNやGaNで形成することもできる。例えば、多重量子井戸構造よりなる活性層の井戸層は少なくともInを含む窒化物半導体、好ましくは $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ )とする。一方、障壁層は、井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体を選択し、好ましくは $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq y < 1, x > y$ )又は $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $0 < z < 0.5$ )とする。但し井戸層及び障壁層をInAlInとすることも可能である。

【0012】本発明において、活性層の総膜厚は、特に限定されないが、井戸層と障壁層の積層された層の合計の膜厚であり、例えば具体的には500～5000オングストロームであり、好ましくは1000～3000オングストロームである。活性層の総膜厚が上記範囲であると発光出力及び活性層の結晶成長に要する時間の点で好ましい。活性層の多重量子井戸構造を構成する障壁層の単一膜厚は、70～500オングストロームであり、好ましくは100～300オングストロームである。障壁層の単一膜厚が上記範囲であると、光電変換効率が向上し、低Vf及び少リーク電流となり好ましい。また活性層の井戸層の単一膜厚は、100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、より好ましくは50オングストローム以下である。井戸層の単一膜厚の下限は、特に限定されないが、10オングストローム以上であることが好ましい。井戸層の単一膜厚が上記範囲であると、発光出力及び発光スペクトル半値幅の点で好ましい。

【0013】本発明において、活性層の井戸層はアンドープ(意図的に不純物をドーピングしない状態)であり、障壁層にのみn型不純物がドーピングされる。障壁層にドーピングするn型不純物にはSi、Ge、Sn、S、O、Ti、Zr等のIV族、若しくはVI族元素を用いることができ、好ましくはSi、Ge、Snを用いる。障壁層へのn型不純物のドーピング量は $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ の範囲に調整する。n型不純物のドーピング量が、上記範囲であると、光電変換効率を低下させず、I-V特性においてリーク電流の増加が見られず、Vfを低下でき好ましい。

【0014】以下に、多重量子井戸構造の活性層の障壁層の単一膜厚と、この障壁層へのn型不純物のドーピング量の値について更に詳細に説明する。但し、図2及び図3は、活性層の障壁層として、後述の実施例1の単一膜厚300オングストローム、Siを $9 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ ドーピングする障壁層を有する活性層を用いた場合のデータである。

【0015】障壁層へドーピングする不純物濃度は、図2(a)に示したように、印加電圧5Vにおいて、低濃度の場合はリーク電流の上昇率は小さいものの、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ を超えるとリーク電流の上昇率が大きくなる傾向がある。一方、図2(b)に示すように、不純物濃度を徐々に低下させていくと、ドーピング量に反比例して順方向電圧が上昇するが、不純物のドーピング量が $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上となると順方向電圧の上昇が大きくなる傾向がある。また、障壁層の単一膜厚は、図3(a)に示すように、厚くなればなるほど順方向電圧が比例して上昇する傾向があるが、窒化物半導体素子の耐久性及び規格等の点から、順方向電圧は3.8V以下であることが好ましい。このことから、障壁層の単一膜厚の上限を500オングストローム以下とする。また図3(b)に示すように、薄膜の場合は発光出力が小さく、単一膜厚を70オングストロームまで徐々に厚くすると、発光出力は急な上昇を有して高くなるが、70オングストローム以上とすると、発光出力の上昇が緩やかとなる傾向がある。このことから、障壁層の単一膜厚の膜厚の下限を70オングストローム以上とする。

【0016】以上ことから、光電変換効率を高めるために障壁層の単一膜厚を厚くすることにより引き起こされる種々の問題点を、光電変換効率の向上と同時に解決するために種々検討の結果、障壁層の単一膜厚を70～500オングストロームとし、障壁層への不純物のドーピング量を $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ とすることにより障壁層を厚膜にしたことにより生じる諸問題の解決及び光電変換効率の向上を良好にすることができる。

【0017】本発明において、活性層を成長させる直前に形成させるアンドープ窒化物半導体層とは、意図的に不純物をドーピングしないで形成した層を示し、隣接する層からの不純物の拡散、原料又は装置からのコンタミネーションにより不純物が混入した層であっても、意図的に不純物をドーピングしていない場合にはアンドープ層とする。このようなアンドープ窒化物半導体層を形成した上に、活性層を成長させると、活性層の結晶性が向上し、光電変換効率及び発光スペクトル半値幅がより良好となる。

【0018】本発明において、上記アンドープ窒化物半導体層は、上記活性層に比較してバンドギャップエネルギーの大きい、アンドープGaN、一般式 $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$  ( $0 < a < 0.5$ 、好ましくは $a < 0.2$ )で表されるアンドープ $\text{InGaIn}$ 、一般式 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$  ( $0 < b < 1$ 、好ましくは $b < 0.2$ )で表せるアンドープAlGaNのうちいずれか1つからなることが好ましい。また、一般式 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 < x, 0 < y, x+y < 1$ )を用いて構成してもよい。なお、アンドープ窒化物半導体層としてアンドープ $\text{InGaIn}$ を用いる場合、該アンドープ $\text{InGaIn}$ においてGaに対するInの比率を上記井戸層に比較して小さく設定する。

上記アンドープ窒化物半導体層の膜厚は10～500オングストローム、好ましくは10～300オングストローム、より好ましくは20～100オングストロームである。膜厚が上記範囲であると、光電変換効率、及び発光出力の点で好ましい。

【0019】本発明において、n型及びp型窒化物半導体層としては特に限定されず、種々の窒化物半導体層を組み合わせる用いることができる。また、前記活性層の直前に形成されるアンドープ窒化物半導体層の他に、同一組成又は異なる組成の種々のアンドープの窒化物半導体層を窒化物半導体素子のいずれかの部分に用いてもよい。例えば、サファイアなどの異種基板上に200～900℃でGaNよりなるバッファ層を成長させるとバッファ層の上に高温(900℃程度より高い温度)で成長させる窒化物半導体の結晶性が良好となり好ましい。また活性層の上層に、MgをドーピングさせたAlGaN等の層を形成すると発光出力の点で好ましい。このように種々の窒化物半導体層を組み合わせる素子を構成することができる。窒化物半導体素子の具体例としては、後述の実施例に示したLED素子を構成する窒化物半導体を用いることができる。また電極としては、種々のオーミック接触を有する電極を適宜選択して用いることができる。

【0020】また、前記多重量子井戸構造の活性層を成長させる直前に成長させるアンドープ窒化物半導体層は、単一井戸構造の活性層を成長させる直前に成長させると多重量子井戸構造の活性層の直前に成長させる場合と同様に光電変換効率を向上させることができる。

【0021】

【実施例】以下に本発明の一実施の形態である実施例を示すが、本発明はこれに限定されない。

【実施例1】実施例1は、図1に示される発光ダイオード(LED)を作成する。サファイア基板1のC面上に、300オングストロームの厚さのGaNバッファ層2を550℃で成長させ、GaNバッファ層2上に0.7μmの厚さのアンドープGaN層3を1050℃で成長させる。次に同一温度で、Siがドーピングされたn型GaN層4を3.3μmの厚さに成長させる。

【0022】そして、活性層を成長させる前に、1050℃で、アンドープGaN層5を400オングストロームの厚さに成長させる。

【0023】次に、Siが $9 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ ドーピングされたGaNよりなる障壁層を300オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープ $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を6層、井戸層を5層、交互に積層して、総膜厚1950オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。

【0024】次に、Mgがドーピングされた300オングストロームの厚さのp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nからなるp型AlGa<sub>0.2</sub>N層7を成長させ、さらにMgがドーピングされた、0.2μmの厚さのp型Ga<sub>0.2</sub>N層8を成長させる。

【0025】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層を低抵抗化する。

【0026】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側Ga<sub>0.2</sub>N層8の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE（反応性イオンエッチング）装置で、積層されたp型Ga<sub>0.2</sub>N層8、p型AlGa<sub>0.2</sub>N層7、活性層6及びアンドープGa<sub>0.2</sub>N層5をエッチングにより部分的に除去して、n電極を形成するためn型Ga<sub>0.2</sub>N層4の表面を露出させる。

【0027】次に、p型Ga<sub>0.2</sub>N層8の上にNi/Auからなるp電極を形成し、n型Ga<sub>0.2</sub>N層4上に露出させた表面にTi/Alからなるn電極11を形成してLED素子を作製する。

【0028】このLED素子は順方向電流20mAにおいて、470nmの青色発光を示し、V<sub>f</sub>は3.5Vで、発光出力は6.5mWであり、従来の多重量子井戸構造のLED素子に比較して、V<sub>f</sub>で0.3V近く低下し、出力は1.5倍以上に向上した。なお、従来の多重量子井戸構造のLED素子としては、上記実施例1において活性層を構成する障壁層をアンドープの20オングストロームの膜厚に変更する他は同様にしてLEDを作製した。上記のように本発明の素子は、比較の素子と比べ、同一の順方向電流値で発光出力が上昇し、光電変換効率が向上でき、このことから低消費電力化が可能となる。

【0029】〔実施例2〕実施例1において、活性層を成長させる直前に成長させたアンドープGa<sub>0.2</sub>N層5を形成しない他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例1に比べるとやや光電変換効率が低下し発光スペクトル半値幅がやや広くなるものの、

ほぼ同様の良好な特性を有する。

【0030】〔比較例1〕実施例1において、井戸層にSiを $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーピングした他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、印加電圧-5Vで、リーク電流800mA、発光出力0.5mWといった特性を示し、良好な結果が得られなかった。

【0031】

【発明の効果】本発明は、多重量子井戸構造の活性層の井戸層をアンドープとし、更に障壁層の膜厚及び不純物濃度を規定することにより、従来の問題点を解決し、低消費電力でも良好な発光出力を有する光電変換効率の高い窒化物半導体発光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の一実施の形態であるLED素子の構造を示す模式断面図である。

【図2】図2は、実施例1の活性層の障壁層の不純物濃度を段階的に変化させたときのリーク電流〔図2

(a)〕及び、順方向電圧〔図2(b)〕の変化をプロットしたグラフである。

【図3】図3は、実施例1の活性層の障壁層の厚みを段階的に変化させたときの順方向電圧〔図3(a)〕及び、発光出力〔図3(b)〕の変化をプロットしたグラフである。

【符号の説明】

1・・・サファイア基板

2・・・バッファ層

3・・・アンドープGa<sub>0.2</sub>N層

4・・・SiドーピングGa<sub>0.2</sub>N層

5・・・アンドープGa<sub>0.2</sub>N層

6・・・活性層

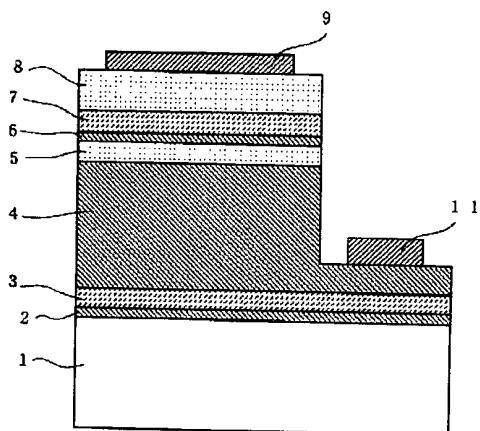
7・・・MgドーピングAlGa<sub>0.2</sub>N層

8・・・MgドーピングGa<sub>0.2</sub>N層

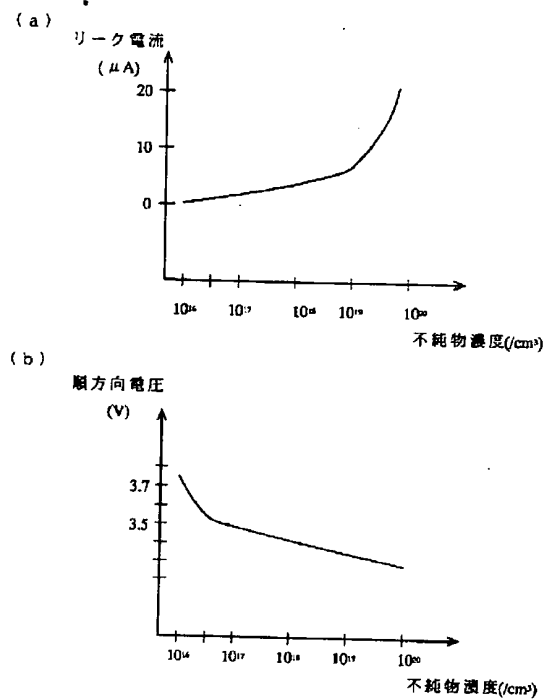
9・・・p電極

11・・・n電極

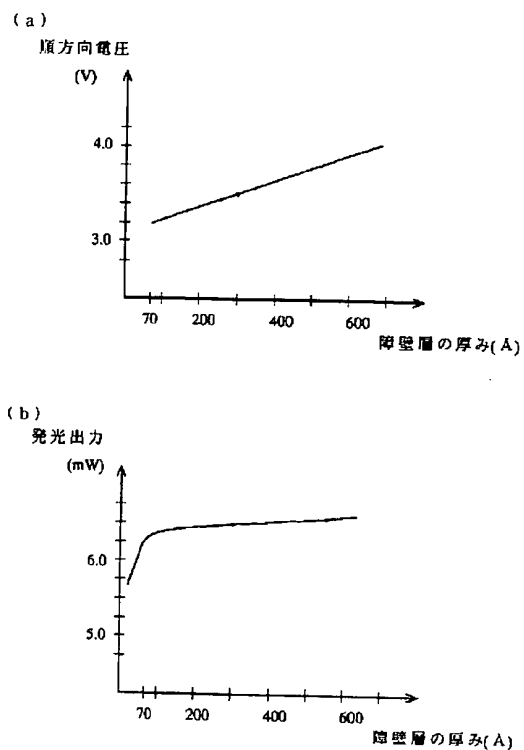
【図1】



【図2】



【図3】



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第2区分

【発行日】平成17年12月8日(2005.12.8)

【公開番号】特開2000-133883(P2000-133883A)

【公開日】平成12年5月12日(2000.5.12)

【出願番号】特願平10-300615

【国際特許分類第7版】

H 0 1 S 3/18

【F I】

H 0 1 S 3/18 6 7 7

【手続補正書】

【提出日】平成17年10月21日(2005.10.21)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型窒化物半導体層と、p型窒化物半導体層との間に、Inを含む窒化物半導体よりなる井戸層と、井戸層と組成の異なる窒化物半導体よりなる障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造の活性層を有し、前記井戸層がアンドープであり、前記障壁層の単一膜厚が70～500オングストロームであり、更に障壁層にn型不純物が $5 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープされていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 アンドープ窒化物半導体層上に前記活性層を有することを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記アンドープ窒化物半導体層が、アンドープGaNからなることを特徴とする請求項2に記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記活性層の上層にMgがドープされたAlGaN層を有することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項5】 前記アンドープ窒化物半導体層が、前記活性層に接してなることを特徴とする請求項2乃至4のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項6】 前記活性層の障壁層が、前記アンドープ窒化物半導体層に接してなることを特徴とする請求項2乃至5のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項7】 前記障壁層の単一膜厚が100～300オングストロームであることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項8】 前記アンドープ窒化物半導体層の膜厚が、10～500オングストロームであることを特徴とする請求項2乃至7のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0005

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0005】

【課題を解決するための手段】

即ち、本発明は、下記(1)～(8)の構成により本発明の目的を達成することができる。

(1) n型窒化物半導体層と、p型窒化物半導体層との間に、Inを含む窒化物半導体よりなる井戸層と、井戸層と組成の異なる窒化物半導体よりなる障壁層とが積層されて

なる多重量子井戸構造の活性層を有し、前記井戸層がアンドープであり、前記障壁層の単一膜厚が70～500オングストロームであり、更に障壁層にn型不純物が $5 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープされていることを特徴とする窒化物半導体素子。

(2) アンドープ窒化物半導体層上に前記活性層を有することを特徴とする(1)に記載の窒化物半導体素子。

(3) 前記アンドープ窒化物半導体層が、アンドープGaNからなることを特徴とする(2)に記載の窒化物半導体素子。

(4) 前記活性層の上層にMgがドープされたAlGaN層を有することを特徴とする(1)乃至(3)のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

(5) 前記アンドープ窒化物半導体層が、前記活性層に接してなることを特徴とする(2)乃至(4)のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

(6) 前記活性層の障壁層が、前記アンドープ窒化物半導体層に接してなることを特徴とする(2)乃至(5)のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

(7) 前記障壁層の単一膜厚が100～300オングストロームであることを特徴とする(1)乃至(6)のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

(8) 前記アンドープ窒化物半導体層の膜厚が、10～500オングストロームであることを特徴とする(2)乃至(7)のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。